



提 言

紀伊半島における宇宙からの防災技術の検証提案

Proposal of Monitoring Relayed by the Low Earth Orbit for the Feasibility Study of Disaster in the Kii Peninsula.

秋山 演亮¹

¹ 和歌山大学宇宙教育研究所

地上インフラに乏しい地域において、降雨量や土中の含水率などの情報を収集する効率的な方法として、地球低軌道を周回する小型衛星網による中継技術が有効である。国内における実証試験として、紀伊半島での実施を提案する

キーワード：防災情報収集・Store and forward・準天頂衛星・国際協力

1. はじめに

我が国における宇宙開発は、平成20年に制定された宇宙基本法により宇宙産業の強化が活動の主眼として大きく取り上げられるようになった。平成24年には宇宙関連法案が改正され、内閣府には宇宙戦略室、内閣官房には宇宙政策委員会が設置され、産業界に向けた体制作りが進んでいる¹⁾。新しい産業化のツールとして平成24年度に準天頂衛星システムの構築が予算化され、平成30年に24時間運用が開始される予定である。

一方で平成26年度予算として計画されたもう一つの産業化の柱であった「広域災害監視衛星ネットワークの開発・整備・運用」に関しては、行政改革推進会議「秋のレビュー」にて以下のように酷評されている。

- ・ 年間で500億円の多額の税金を利用する投資であるにもかかわらず、概算要求後、安全保障という目的を外すなどそもそも目的がぶれており、本来検討しなければならない「ユーザーニーズ」や「費用対効果」も十分に検討されておらず、関係省庁との調整も十分に行われていないと判断せざるを得ない。
- ・ また、官民の役割分担も不明確であり、民間のニーズの把握も欠如していると判断されるが、仮に民間ニーズがあるのであれば、民間資金の活用を視野に入れるべきではないか。
- ・ このような状況の中では予算化の必要性は見出せないのではないか。

また準天頂衛星システムに関しても、衛星整備は進められているが、実利用に関してはまだまだ動きが遅い感が否めない。

我が国の宇宙開発の産業化には、根幹となる戦略の策定と、現実的な道筋を示す戦術の実施が強く求められている。

2. 宇宙産業の在り方

2.1 日本の宇宙産業構造

我が国はこれまで、60年近くにわたり、宇宙開発に国家予算を投入してきた。現在でも年間約3000億円の国家予算が、経常的に投入されている。またカーナビシステムや衛星放送など利用産業は6~7兆円にも及び(図1)、国民の多くは「年間3000億円の投資で6~7兆円の宇宙利用産業が支えられている」と勘違いしがちである。

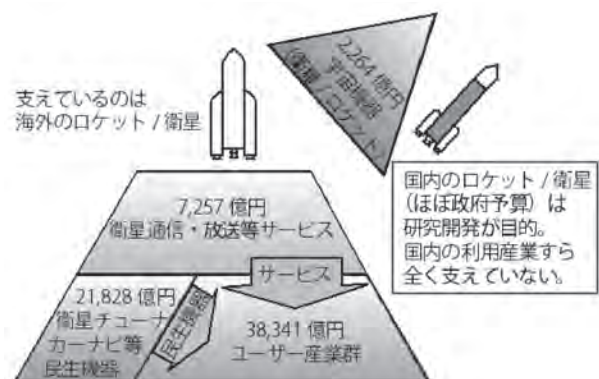
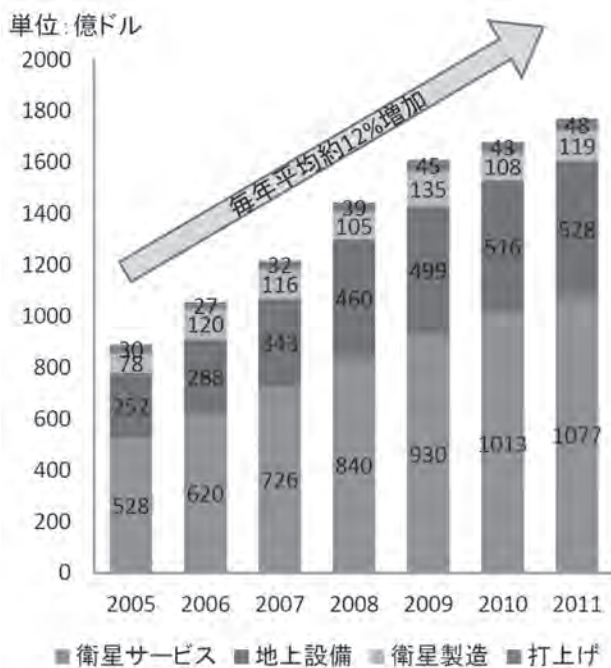


図1 我が国の宇宙産業の現状

図2 世界の宇宙産業の市場規模推移²⁾

世界的に見れば宇宙産業の市場規模は拡大し続けており（図2）、長年にわたって多くの技術とノウハウを蓄積してきた我が国にも、市場参入の機会は大きいと考えられる。

しかし現時点で唯一の大型ビジネスマーケットとなっている静止軌道衛星に関してみると、約255機の現存・作動している民間衛星のうち、日本製の衛星はわずか1機に過ぎない³⁾（しかもこれは民間企業が発注・製造・打上を行った衛星であり、国費は使われていない）。もちろん民間企業が開発した衛星には、国費を使って開発された技術が使われているが、産業化に視点を置いたときにその費用対効果は著しく効率を欠いているのが現状である。

このような問題に関し、宇宙政策委員会は産業部会・調査検討部会などを設けて分析と対策立案を目指しているが、現時点では効果的な対策がまだ見えてきていない。宇宙政策委員会は、我が国が目指すべき以下の6つの宇宙関連市場を示し、それぞれに対する具体的な対策案を早期に提示する必要がある。

1. 通信・放送衛星市場
2. 通信・放送衛星利用市場

既に大規模マーケットが存在しており、我が国にも国際競争力を有する民間企業が存在する。今後は民間を主体に海外戦略を展開し、官民共同のパッ

ッケージ化戦略を推進するなど、国は民業のサポートに努めるべきである。またパッケージ化戦略の具体的なメニュー構築などが求められている。

3. 新規インフラシステム市場
4. センサ・コンポーネント等市場

これまで長年にわたり国費を投入して続けてきた研究開発により、我が国には多くの宇宙関連技術・ノウハウが存在する。これらを有効に活用し、準天頂衛星システム等の新しい宇宙インフラ市場を構築し、国内で実証し海外に展開することが急務である。

また民間企業やJAXAに蓄積されたヘリテッジを活用し、海外衛星に対するセンサやコンポーネント等に関しても売り込みを進める必要がある。

5. 地球低軌道(LEO)衛星による地球観測等のデータ利用市場

先進国の国費を投入して製造・打上・運用されている多くのLEO周回衛星により、長年にわたり地球観測が行われており、地球環境保全等の「オフィシャル」な用途では有効な成果を上げている。一方で民間ビジネスの観点で見ると、大都市圏等を除くと商業利用はこれまで困難とされてきた。

一方で新興国等を中心に、宇宙開発市場への登竜門とし、小型LEO衛星の製造・運用に対する参加熱は高く、今後はこれら諸国からの資本も取り込み、衛星とデータの共同利用を推進することにより、高時間分解能等を売りにした新産業の創出が望まれる。

6. 衛星打上市場

耐用年数の過ぎた軍用輸送系の民間転用などを進める海外に対し、我が国の輸送系単独での商業化は極めて困難である。しかし上記1～5のマーケット戦略・海外戦略と連動させることにより、輸送系の提供を外交ツールとして捉えてアンカーテナンシーを確保、産業としての維持を実現することが現実的と考えられる。

このような観点から、当宇宙教育研究所では特に新興国との連携が重要な課題であると考え、宇宙教育とキャパシティービルディングを利用した活動を展開していることは既に報告している¹⁾。

2.2 LEO小型衛星を使ったStore and Forward

これまでLEO小型衛星の利用は光学センサ等を使ったりモートセンシングがメインであったが、前述の通り地球観測はなかなか民間ビジネスとしては成功したい分野である。一方で小型衛星の利点である安い製造費・打上コスト（単位重量あたりでは高価であるが、単位個数あたりでは安価）を利用し、多くの小型衛星を打ち上げ同時に運用することにより、時間分解能を向上させて商業化を図る取り組みなどが実施されている⁴⁾。一方、多くの小型衛星を同時に運用することにより、通信衛星として準リアルタイムに運用できる点に着目した取組も始まっている。

Store and Forward⁵⁾（以降S&Fと表記）は地上から送られてきたデータを衛星に一旦保存（Store）し、地上局にまとめてダウンリンク（Forward）する機能を示す言葉である。静止軌道上に置かれた通信衛星はもちろんこのような機能を有しているが、地球からの距離が36,000kmと離れているため、地上側の送信機も大出力が求められる。一方、300km～1200km程度の高度を周回する地球低軌道（LEO）衛星については、地上に置かれた比較的低出力の送信機により、衛星との通信が可能となる。

1978年に設立されたアルゴスシステムは、NOAAの極軌道を廻る環境衛星（POES）や欧州気象衛星機構（EUMETSAT）のMetOp衛星に搭載された機器（Argos system）を利用し、地上にある固定またはモバイルプラットフォームから様々な環境データを収集し、処理・解析を行う人工衛星ベースのシステムとして既に稼働している。しかしこれらの母衛星は4tクラス（MetOp）と巨大であり、製造・運用コストも高価であった。

一方、平成21年度より始まった内閣府「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」に採択された、東京大学中須賀教授による「日本発の「ほどよし信頼性工学」を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」により製造が進められているほどよし3号機・4号機は、わずか50kgしか無いがS&F機能を搭載している。S&F機能に必要な衛星搭載コンポーネントは小型であり、将来的には6U～12U（1Uは1辺が10cmの立方体サイズ）でも運用が可能と考えられている。このクラスの衛星であれば1機数千万円で製造が可能であり、数千万から1億円

程度での打ち上げが可能である。

このように多くの宇宙新興国が参入しやすい規模のコスト帯であることから、今後はS&F機能を有した多くの衛星が打ち上げられることが期待されるが、機能やプロトコルの標準化を進め、共同運用ができる体制を作ることで、2.1項で取り上げた3～6の市場に関して、新規創出ができる可能性がある。

2.3 準天頂衛星による高精度測量

我が国が開発した準天頂衛星（QZSS）は、赤道面場にある高度36,000kmの円軌道に対し、軌道面を40度～50度傾けた楕円軌道を有するが、地球と相対した場合、8の字を描く独自の軌道を有している（図3）。



図3 準天頂衛星軌道（内閣府資料より）

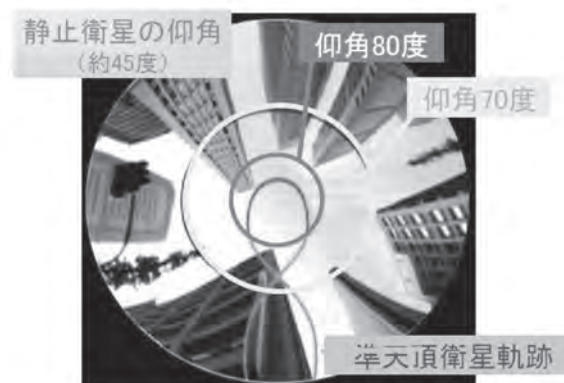


図4 ビルの谷間における準天頂衛星の見え方（国土地理院資料より抜粋）

このため、従来の衛星では受信が困難であったビルの谷間や山間部でも、比較的容易に信号が受信できるようになる（図4）と考えられている。

また準天頂衛星では、独自のGPS補強機能用信号として、L1-SAIFおよびLEX信号を有している。通常のGPSのみを用いた測量では、数mの位置決定精度しか有しないといわれているが、L1-SAIF信号を用いることで数十cm、LEX信号を用いることで数cmの位置決定精度が得られるといわれている。

一方で、GPSは既に世界中で使用されており、地上での受信装置もLSIが開発・多量生産され小型軽量化しており、携帯電話等に組み込むことも可能となっている。しかし準天頂衛星はまだそのシステムが完全に稼働していないことなどもあり、L1-SAIFに関してはLSIは開発されているが多量生産されるには至っていない。ヒアリングによると、メーカーは1万個以上の需要見込みがある場合に生産が可能と述べている。LEXに関しては、LSI開発も今後の課題となっている。開発には約1〜2億円の費用がかかると見込まれている。

3. 和歌山大の取組

3.1 災害多発県、和歌山と和歌山大学の取組

和歌山県は中央構造線上に位置し、また本州最南端の県でもある。このことから、しばしば地震や台風などの被害を被ってきた。また山が海岸線に迫っており、そのわずかな土地に多くの人が住んでいるため、一旦土砂災害が発生すると、甚大な被害を生じる。そのため、和歌山県をはじめ国もこれまで多くの設備投資を行い、防災活動に努めてきた。しかし2011年に起こった台風12号による被害をはじめ、今でもまだ多くの災害が発生しており、更なる対応が求められている。

地元のシンクタンクとして、和歌山大学はこのような災害に対応するために、防災研究教育センターを立ち上げている。また昨年度には防災・減災対応和歌山大学有識者会議を立ち上げ、災害地の調査・災害危険箇所の分析・災害地理情報や災害前風景のデジタルアーカイブ化などによる防災計画の立案、災害発生時に復興の中核となる人材の育成などを、活動方針として定めている。また2013年には当宇宙教育研究所も協力し、JAXAと和歌山大の間で防災協力協定も締結している。これにより、JAXAが保有する様々な地球

観測衛星の画像データ等を利用した活動を行っている。

一方、国交省は2014年度中に、紀南地区を対象とした新しい砂防研究の拠点立ち上げを検討しており、和歌山大学では以下のような提案を実施している。

1) 情報収集と防災計画の共同立案

前述のような防災値の調査・災害危険箇所の分析・災害地理情報や災害前風景のデジタルアーカイブ化を通じた防災計画の立案

2) 災害時のリーダー育成

3) 『聞き書きマップ』を利用した被災情報収集

災害発生時に必要となるリーダーを地域の中に育成し、復興の中核人材とすると同時に、これら人材を活用した被災地全域の偏りのない情報収集システムの構築を目指す

4) 地球周回衛星による地上データの収集

紀伊山中に配置した雨量計等の地上センサの位置を準天頂衛星等を利用して測定、得られたセンサ情報を衛星を介して収集する（Store and Forward）ことで、地上情報インフラを使うことなく、アメダスのようなシステム構築を目指す

5) 防災技術の海外展開

上記1)〜4)によって得られた知見を集約し、ERIA（東アジア・ASEAN経済研究センター）等を通じ、海外へのシステム輸出を実施する。また大学のネットワークを利用し、学生教育・社会人人材育成による海外との連携強化を目指す

3.2 要素技術・コンポーネント開発 / 実証試験

このような取組を行うに当たっては、全国の大学や研究機関・企業と協力し、必要となる技術やコンポーネントの開発を実施する事が必要である、

1) S&F技術の開発、標準化

50kg級、あるいは6U・12Uクラスの超小型・地球低軌道（LEO）周回衛星を使った、S&Fシステムを開発する。衛星と地上センサ網との通信方法、地上センサネットワーク内での通信方法、衛星の廉価生産、打ち上げ手段の廉価化などが必要とされ、国内外の企業や大学・研究機関との連携が必要であ

る。

宇宙教育研究所ではこれまで、UNIFORMプロジェクト⁷⁾等を通じて超小型衛星の世界展開と市場形成の為に活動を行ってきており、S & F技術の開発と普及に当たっては、中核的な活動を実施したいと考えている。

2) 測位コンポーネントの開発

既に数十cmの単位で位置計測を行うことができる、L1-SAIF補正信号に対応した受信機用のLSIは日本のメーカーにより開発されている。今後はより高精度の位置決め(数cm単位)が可能となるLEX補正信号に対応した受信機用のLSI開発が求められている。

これらはある一定数(万個単位)の需要見込みがある場合に、民間メーカーによって開発が可能になる。そこで和歌山大としては、需要を喚起することで、国の支援を受けつつメーカーが開発・販売を実施出来る環境作りに貢献をしたい。

このような観点から、以下のような測位コンポーネントの利用活動と連携することにより、需要の喚起を目指す。

3) 「聞き書きマップ」⁸⁾による防犯マップ制作

科学警察研究所では、全国45,000人以上の防犯ボランティアの協力を得て、各人が持った測位機器・ICレコーダー・カメラによる情報を組み合わせ、防犯地図作りを推進している(図5)。ボランティアは市内を巡回し、違法駐車が多い場所などで撮影と音声録音を行い、帰宅後に測位機器の情報と併せて、「聞き書きマップ」システムを使うことで防犯情報の地図化を行っている。現在使われている測位



図5 「聞き書きマップ」システム概要図

機器では数mの誤算があるため、細い路地等では正しい位置情報がマッピングされないなどの問題があるが、L1-SAIFやLEX補正に対応した機器を用いることにより、より精度の高い防犯マップ製作活動が実施出来る。また同時に、数万個のオーダーで、L1-SAIFやLEX補正対応のLSI需要が見込まれる。

和歌山大学は「聞き書きマップ」の推進に協力する京都大学と、宇宙に関する協力協定を既に締結しており、その活動の一環として、「聞き書きマップ」システムでのL1-SAIF・LEX補正対応LSIの需要喚起に努めたい。

また一方で、このような「聞き書きマップ」のシステムは、災害発生時の情報収集に大きな役割を果たすと考えられている。

災害が発生した直後、多くのメディア等はその話題性からもっとも被害が甚大であった箇所に報道が集中する傾向がある。しかし災害対策の観点から見れば、例えばどの避難所に空きがあるのか、混雑しているのか、物資が足りているのかどうかなど、災害を被った地域全域にわたり、偏りのない情報収集が求められている。

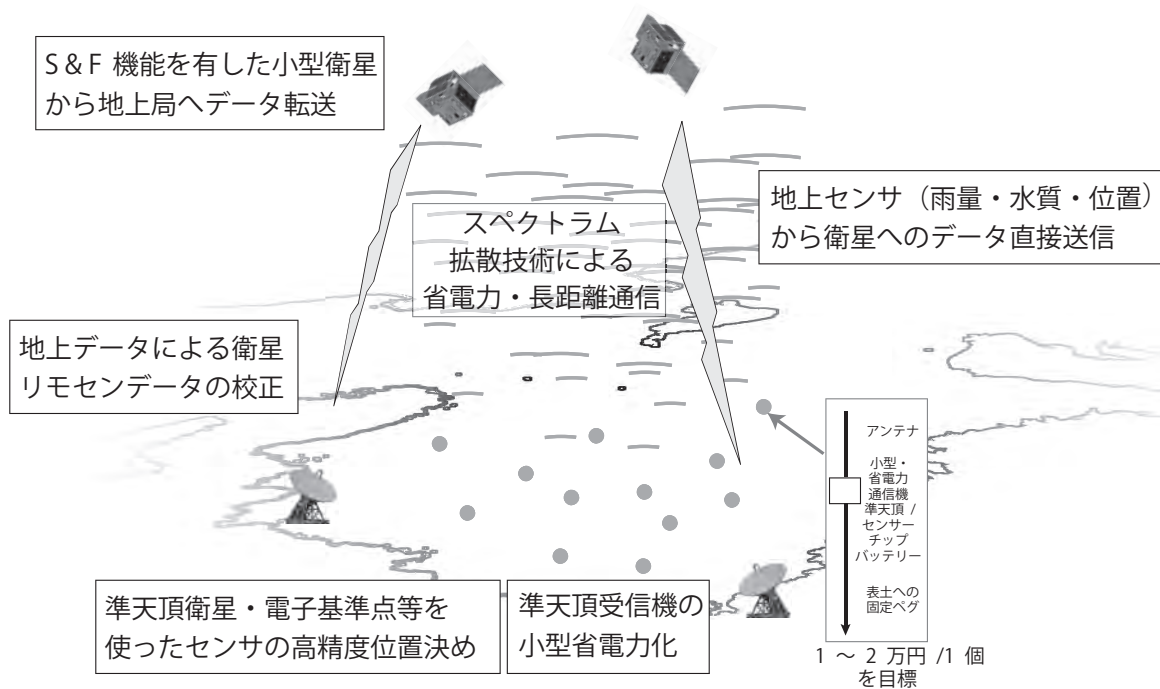
そこで和歌山大ではこの「聞き書きマップ」システムを利用し、平時には防犯情報の収集のため、災害時には被災地情報全体の等価的な情報収集手段として、本システムを利用出来るように県内の人材育成に努めることで、積極的に推進をしていきたいと考えている。

4) 防災情報の収集システムの構築(図6)

土砂災害は、一定時間内の降水量が限界値を超えたときに発生するとされており、各地域毎に設置された雨量計のデータは防災上、非常に重要な情報を提供する。しかしながら、紀伊山中のように地上の情報インフラからも遠く、無線通信をするにも山の尾根が邪魔をするような場所に於いては、高密度の降雨情報を集めることは困難であった。

しかし準天頂衛星を利用し、S&F機能を有した地球周回衛星を利用することにより、非常に安価にこれらのデータを収集することができるシステムを構築することが可能となってきた。

そこで和歌山大では国の研究機関等と協力し、主体的にこのシステムの実証試験を実施することを検



討している。使用されるセンサは1~2万円/個程度とし、まずは小型雨量計センサ・衛星まで（あるいは近隣の中継ポイントまで）の省電力小型通信チップ、LEX（あるいはL1-SAIF）補正対応のLSIを搭載する物とする。これにより、センサ設置時に地上測量などによって位置決めをする必要が無くなり、非常に安価にセンサの設置を行うことができる。また設置されたセンサは常に位置情報を発信し続けるため、雨量データのみならず地盤の移動データも計測することが可能である。

本情報とする試みが広く行われている。現時点では位置情報を修得するのに、従来のGPSシステムが使用されているが、この場合、数mの位置測定誤差が生じる事がある。このためGPSでは間違っただ線位置での情報としてしまう可能性があるが、準天頂衛星の高精度補正機能を使うとこのような誤りは生じない(図7)。

トヨタ車の純正カーナビゲーションシステムを搭載する自動車は約300万台あると言われており、これら全てにL1-SAIF補正対応のLSIを使用することができれば、大きな需要を喚起することができる。

5) テレマティックサービスの拡充

現在、既に自動車メーカー等を中心として、走行中の自動車の位置情報を収集し、渋滞情報を得たり事故や故障に対応できるメンテナンスビジネスの基



図7 L1-SAIFの精度検証 (株) CORE 調べ (※新衛星ビ
ジネス (株) 資料より抜粋)

3.3 海外展開

宇宙関連の技術を海外に展開し、その市場規模を拡大していくことは非常に重要¹⁾である。また我が国が進める国土強靱化施策を海外に広めていくことは、講義の安全保障上の観点からも強く求められている。

経済協力開発機構（OECD）には既に、世界各地の都市で実施された取組の成果を分析し、海外の都市に広めていく（knowledge shearing⁷⁾）取組を実施している。

和歌山大学では今回、紀伊半島における3.2項3)・4)のような実践的な防災に関する取組に関して、OECDが進めるknowledge shearingのスキームを適用する可

能性に関し、OECD東京事務所とミーティングを実施しており、前向きな回答を得ている。

また我が国も参加する国際機関である、ERIA（東アジア・アセアン経済研究センター）では、平成26年度の活動として、宇宙も利用した域内の防災活動の活性化に関する検討を行うために、委員会の設置を予定している。委員会では我が国を含む東アジア・アセアンでの様々な防災活動の取組を取り上げ分析し、今後、域内で適用していくべき新しい技術に関する評価・提案を行っていく事になっており、今回の我々の取組も大きく取り上げられることが期待されている。

このように、OECDやERIAの活動とも連動することによって、宇宙を利用した防災活動・災害対策手法を、広く海外に展開することが期待できる。またこれにより、日本で培われた様々な利用のためのシステムもまた、海外市場を拡大することが期待できる。

また昨年度も報じたり¹⁾ように、当研究所が半分以上の勢力を投入し実施しているUNIFORMプロジェクトは、超小型衛星の製造・運用を、新興国に展開し、各国の人材育成に寄与すると同時に、今後の海外マーケットの開拓とシェア拡大を目指す、戦略的な取組である。

今回提案するS&Fは、UNIFORMプロジェクトが進める超小型衛星のコンステレーション運用に対する、一つの大きな需要喚起となり得る。また得られたデータを統合処理し、一般のコンシューマーに広く利用出来るソリューションビジネス化すること（例えば日本のアメダスシステムのように、利用者がそのシステムのインフラを意識せずに、利用の観点からだけ接することができること）は、宇宙開発の産業化にとって必要不可欠な行程であると我々は考える。

従来行ってきたUNIFORMプロジェクトや国内外における宇宙教育活動とも連携させ、今回提案したような宇宙を利用した防災活動・災害後の復旧活動に関する取組を行っていきたいと考えている。

4. おわりに

我が国の宇宙開発は、宇宙基本法の設定から始まる一連の法改正により、開発から産業化へと大きくその重点を変更することが宣言されている。しかしながら産業化を推進する具体的な手法に関しては、まだまだ手探りな状況が続いている。

そのような中、航空宇宙関係の「教育」による普及活動と人脈形成に努める当宇宙教育研究所の活動は、「研究」に重きを置く他大学機関の活動とは一線を画しており、産業化、特に海外市場の開発・獲得のために重要な働きをすると期待されている。当研究所の活動は太く国家戦略と結びつき、その実現のための具体的なツールの開発と実践という形で展開してきている。

昨年度の紀要において、「このような活動に対する高い評価が、直接的には文部科学省の資料で取り上げられるなどの結果として表れているが、なによりその理念が政府の宇宙基本計画や文部科学省の活動方針に反映されるなど、大きな影響を与えている。しかし一方で、学内における当研究所の認知度は極めて低い状況にあり、その活動基盤の維持にも難を来す状況になっている。これは所を運営するマネージャーとして深刻に受け止め、己が責任を真摯に考えている。」と記述を行ったが、1年間の活動を通じて、和歌山大学が積極的に推進する防災に関する活動と密接に関係しながら、学内的な理解と協力を得られる足場作りを着々と進めている。

また今回、国交省をはじめとする国の機関との連携についての調整も始まっており、京都大学等の地域の大学との連携活動も、始まろうとしている。

これらの協力関係今後も発展させ、実り多い成果としていくことが、設立5年目を迎える当研究所にとって必要な活動であると考えている。

このような観点を十分に理解し、所員一同、今後もそれぞれのスケールに応じた活動を展開することで、理解と協力を高めていく必要があり、そのための全体計画を立案・遂行していく予定である。今後も皆様の御協力を、心より御願います。

謝辞

本研究所の活動の一部は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成されたものです。またUNIFORMプロジェクトは、文部科学省からの補助金事業として実施しています。また国内の多くの大学の先生・高校の先生方、JAXA宇宙教育センターの協力を戴き、本研究所がサポートする国内の宇宙教育が実践されています。心からの感謝を申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 秋山演亮「超小型衛星の世界と宇宙教育・キャパシティー
ビルディング」宇宙教育研究所紀要（2012）
- 2) Satellite Industry Association「State of the Satellite
Industry Report」(2012)
- 3) BSS (Boeing Satellite Systems)
[http://www.boeing.com/defemse-space/space/bss/
launch/980031_001.pdf](http://www.boeing.com/defemse-space/space/bss/launch/980031_001.pdf)
- 4) Planet Labs. Inc
<http://www.planet-labs.com/>
- 5) Joseph P. Havlicek et al., 「Networks of Low-Earth Orbit
Store-and-Forward Satellites」 IEEE Transaction on
Aerospace and Electronic Systems Vol1.31, No.2 (1995)
- 6) 予防犯罪学推進協議会
<http://www.skre.jp>
- 7) OECD knowledge sharing
[http://www.oecd.org/about/secretary-general/oecdcontributiontointernationaldevelopmentknowledgesharingandpolicy
coherence.htm](http://www.oecd.org/about/secretary-general/oecdcontributiontointernationaldevelopmentknowledgesharingandpolicycoherence.htm)